

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-065212

(43)Date of publication of application : 06.03.1998

(51)Int.Cl.

H01L 33/00  
H01S 3/18

(21)Application number : 08-214688

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 14.08.1996

(72)Inventor : SUGIURA RISA  
FUJIMOTO HIDETOSHI

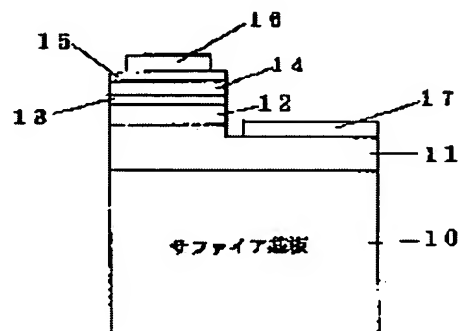
## (54) NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To lower the p-side contact resistance and the operating voltage of an element by forming a contact layer on an active layer, through a clad layer and composing the contact layer of a nitride-based compound semiconductor containing Si and C at a specified ratio.

SOLUTION: An n-GaN layer 11, an n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub> clad layer 12, an In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N active layer 13, and a p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N clad layer 14 are formed sequentially on a sapphire substrate 10. An Mg doped (GaN)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub> contact layer 15 is then formed, while containing Si and C at a ratio of 1:1. Subsequently, a p-side electrode 16 and an n-side electrode 17 are formed. Since Si and C are added at a ratio of 1:1 to GaN, and an Mg doped layer is employed as the contact layer, activation rate of Mg is enhanced and the contact resistance is decreased.

Furthermore, lattice mismatch difference is mostly eliminated with respect to the p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N clad layer 14, and the interface characteristics are enhanced also.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-65212

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月6日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-214688

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月14日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 杉浦 理砂

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 藤本 英俊

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

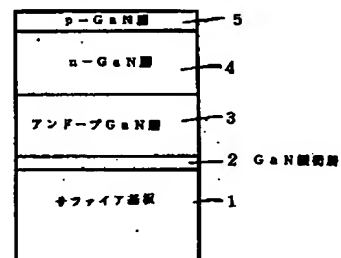
(74) 代理人 弁理士 大胡 典夫

(54) 【発明の名称】 窒化物系化合物半導体発光素子

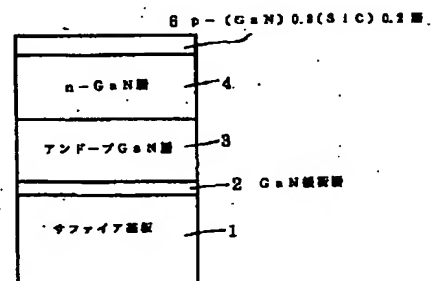
(57) 【要約】

【課題】 GaN系発光素子のコンタクト層あるいはクラッド層の抵抗を低減し、素子の動作電圧を低減し、素子寿命を向上すること。

【解決手段】 窒化物系化合物半導体素子において、コンタクト層あるいはクラッド層が、Ga、Al、In、Bのうちの少なくとも一元素とNを含む窒化物系化合物半導体にSiとCを1対1の割合で含む化合物半導体により構成されているもの。



(A)



(B)

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に第1のクラッド層を介して形成された活性層と、この活性層上に第2のクラッド層を介して形成されたコンタクト層と、このコンタクト層上に形成された第1の電極と、この第1の電極に対して前記活性層の反対側に設けられた第2の電極とを備えた窒化物系化合物半導体素子において、前記コンタクト層は、SiとCを1対1の割合で含む窒化物系化合物半導体により構成されていることを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記コンタクト層あるいは第2のクラッド層はGa、Al、In、Bのうちの少なくとも一元素とNを含む窒化物系化合物半導体にSiとCを1対1の割合で含み、 $(Ga_a Al_b In_c B_d N)_{1-x} (SiC)_x$  (ただし、 $a+b+c+d=1$ 、 $0 \leq a, b, c, d \leq 1$ 、 $0 < x < 1$ ) で表される化合物で構成されていることを特徴とする請求項1記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記第1あるいは第2のクラッド層がSiとCを1対1の割合で含む窒化物系化合物半導体により構成されていることを特徴とする請求項1または2記載の窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 基板上に第1のクラッド層を介して形成された活性層と、この活性層上に第2のクラッド層を介して形成されたコンタクト層と、このコンタクト層上に形成された第1の電極と、この第1の電極に対して前記活性層の反対側に設けられた第2の電極とを備えた窒化物系化合物半導体素子において、前記コンタクト層がSiCにより構成されていることを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 基板上に第1のクラッド層を介して形成された活性層と、この活性層上に第2のクラッド層を介して形成されたコンタクト層と、このコンタクト層上に形成された第1の電極と、この第1の電極に対して前記活性層の反対側に設けられた第2の電極とを備えた窒化物系化合物半導体素子において、前記コンタクト層は、窒化物系化合物半導体層とSiおよびCを1対1の割合で含む化合物半導体層とが交互に積層されてなることを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化物系化合物半導体からなる発光素子に関し、特にGaN、AlGaN、InGaN等を用いた窒化物系化合物半導体からなる半導体発光素子等の半導体素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光ディスクの記録密度の向上やレーザープリンタの解像度の向上を図るため、短波長での発光が可能な半導体レーザー(LD)が要求されている。短波長の半導体レーザーとしてInGaAlP材料による6

00nm帯発光素子は、ディスクの読み込み、書き込み用の光源として可能なレベルにまで特性が改善され、すでに実用化されているが、さらなる記録密度向上を目指して青色半導体レーザーの開発が盛んに行われている。

【0003】このような開発において、III-V族化合物半導体であるZnSe系材料を用いた青緑色半導体レーザーは発振動作が確認されて以来、長寿命化、信頼性向上など実用化を目指した開発が盛んに行われている。しかし、この材料系では成長用基板と素子部を有する成長層との間の格子不整合差や熱膨張係数差により生じた転位が通電により増殖するなどして、信頼性が得られないこと、寿命が短いことなど実用化への障壁は高いことが分かってきている。

【0004】これに対し、GaN系半導体レーザーは材料的にZnSe系よりもさらに短波長化が可能であり、信頼性に関してもZnSe系に比べ材料的に硬化であるため有望な材料として期待されている。この材料系を用いたLEDにおいては1万時間以上の信頼性が確認されており、現在は次世代の光ディスクシステム用の光源に必要な条件を満たす青色半導体レーザーの研究開発が盛んに行われている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、GaN系LDの実現は、LEDの実現ほど容易ではなく、いくつかの課題を解決しなければならない。この材料系においてレーザー発振が困難な理由、またはレーザー発振しても素子の信頼性が得られない理由の一つとして、p側電極の問題がある。現状では、p側電極のコンタクト抵抗が高いため、素子の動作電圧が高く、レーザー発振が困難であるか、発振してもp側電極コンタクト部の劣化により素子破壊が生じる。したがって、GaN系半導体レーザーの実現には、p側コンタクト抵抗の低減が必須である。

【0006】従来はこの問題を解決するために、GaN結晶中にMg等のp型ドーパントをドーピングしてコンタクト抵抗の低減を行っていたが、この方法ではp型ドーパントがある濃度に達すると、それ以上ドーピングしても、抵抗値は下がらなくなる現象が見られた。このような現象が生ずる理由としては、GaNはバンドギャップエネルギーが300Kで約3.4eVと大きく、またGaNはイオン結合性が強い(イオン結合性の強さを示すフィリップスのイオン度は0.500)のため、Mgが活性化しにくいためと推測される。すなわち、イオン結合性が大きいGaNへMgを高濃度でドーピングした場合、GaN中へMgは取り込まれるものの、欠陥を誘起することにより電価中性条件が保たれてしまうため、GaN中のMg濃度に対し、p型のキャリア濃度としての活性化率は1%程度と低く、p型コンタクト層の低抵抗化には寄与しないためと考えられる。

【0007】本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、GaN系発光素子のp側コンタクト抵抗の低

減を可能にし、素子の動作電圧を低減し、レーザ発振を容易にすると共に、素子寿命が大幅に延び、信頼性の高い半導体発光素子を提供することを目的とするものである。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、基板上に第1のクラッド層を介して形成された活性層と、この活性層上に第2のクラッド層を介して形成されたコンタクト層と、このコンタクト層上に形成された第1の電極と、この第1の電極に対して前記活性層の反対側に設けられた第2の電極とを備えた窒化物系化合物半導体素子において、前記コンタクト層は、窒化物系化合物半導体にSiとCを1対1の割合で含む化合物半導体により構成されていることを特徴とする。

【0009】また、本発明は、前記コンタクト層あるいは第2のクラッド層はGa、Al、In、Bのうちの少なくとも一元素とNとを含む窒化物系化合物半導体にSiとCを1対1の割合で含み、 $(Ga_a Al_b In_c B_d N)_{1-x} (SiC)_x$ （ただし、 $a+b+c+d=1$ 、 $0 \leq a, b, c, d \leq 1$ 、 $0 < x < 1$ ）で表される化合物で構成されていることを特徴とする。

【0010】さらに、本発明は、前記第1あるいは第2のクラッド層が窒化物系化合物半導体にSiとCを1対1の割合で含む化合物半導体により構成されていることを特徴とする。

【0011】また、本発明は、基板上に第1のクラッド層を介して形成された活性層と、この活性層上に第2のクラッド層を介して形成されたコンタクト層と、このコンタクト層上に形成された第1の電極と、この第1の電極に対して前記活性層の反対側に設けられた第2の電極とを備えた窒化物系化合物半導体素子において、前記コンタクト層がSiCにより構成されていることを特徴とする。

【0012】さらに、本発明は、基板上に第1のクラッド層を介して形成された活性層と、この活性層上に第2のクラッド層を介して形成されたコンタクト層と、このコンタクト層上に形成された第1の電極と、この第1の電極に対して前記活性層の反対側に設けられた第2の電極とを備えた窒化物系化合物半導体素子において、前記コンタクト層は、窒化物系化合物半導体層とSiおよびCを1対1の割合で含む化合物半導体層とが交互に積層されてなることを特徴とする窒化物系化合物半導体発光素子が得られる。

【0013】すなわち、本発明の一実施態様によれば、GaNに対して、SiとCを1対1の割合で全体の20%含む化合物 $(GaN)_{0.8} (SiC)_{0.2}$ にMgをドーピングした層をコンタクト層として用いることにより、Mgの活性化率が大幅に向上し、コンタクト層の抵抗を大幅に低減することが可能になった。この理由としては、SiCはバンドギャップエネルギーが300Kで2.8

6eVとGaNに比べ小さく、しかもイオン結合性の強さを示すフィリップスのイオン度がGaNの0.500に対して0.177と小さいので、GaNでは活性化しにくいp型ドーパントが活性化しやすいためと考えられる。

【0014】本発明はp型コンタクト層のみでなく、同材料系の発光素子における、p型クラッド層に適用した場合にも、p型ドーパントの活性化率を向上できるほか、n型ドーピングの場合の活性化率の向上にも適用できる。

【0015】本発明により、p側電極とのコンタクト層やp型およびn型クラッド層の低抵抗化が可能になり、レーザ素子あるいは発光ダイオード素子の動作電圧を低減でき、信頼性および素子寿命を向上した半導体発光素子を提供できる。

#### 【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施態様について図面を用いて詳細に説明する。

【0017】図1は本発明の半導体発光素子の基本的構成を従来の構成と対比して示す断面図で、同図(A)は従来の技術による層構造、(B)は本願の技術による層構造を示す。この実施形態では、窒化物系青色半導体レーザ用のp側電極用コンタクト層の成長条件を決定するため、GaN（窒化ガリウム）へp型ドーピングを行い、そのドーピング特性を調べる実験を行った。

【0018】最初に従来通り、GaN層へドーパントとして $Cp_2Mg$ （ビスシクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、MgドーピングGaN層を形成し、その電気特性を調べた。成長は図1(A)に示すように、サファイア基板1上に、有機金属気相成長法（MOCVD法）により、低温GaN緩衝層2（成長温度550℃）を介して、下地層としてアンドープGaN層3を1時間（ $\sim 2\mu m$ ）成長し、その上にドーパントとして $SiH_4$ （シラン）を用いることによりn-GaN層4を1時間（ $\sim 2\mu m$ ）、成長温度1150℃において成長する。その上に、p-GaN層5（Mgドーピング、 $3 \sim 5 \times 10^{18} cm^{-3}$ ）を10分間（ $\sim 0.3\mu m$ ）形成し、得られた試料を750℃、窒素雰囲気中で30分間熱処理することにより、GaN層中のMgを活性化させた。

【0019】このようにして得られたp-GaN層5について、2次イオン質量分析法（SIMS）により、GaN層中のMgの濃度を調べたところ、約、 $3 \times 10^{19} cm^{-3}$ であった。次に、この試料のアクセプタ濃度およびキャリア濃度を、容量-電圧（C-V）測定およびホール効果測定により評価した。その結果、アクセプタ濃度は $8 \times 10^{17} cm^{-3}$ 、p型のキャリア濃度は $3 \times 10^{17} cm^{-3}$ であり、Mgのキャリアとしての活性化率は1%と低いことが確認できた。

【0020】次に、本発明に従い、上述と同様の方法で、p-GaN層の代わりに、原料としてビストリメチ

ルシリメタン(bis-trimethylsilylmethane) [BTMSM  $(\text{CH}_3)_3-\text{Si}-\text{CH}_2-(\text{CH}_3)_3$ ] を用い、1150℃で上述の試料のMgドープGa<sub>0.8</sub>N層の代わりに、n-GaN層4上にMgドープ(GaN)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>層6を10分間(〜0.3μm)成長した。得られた試料を750℃、窒素雰囲気中で30分間熱処理し、Ga<sub>0.8</sub>N層中のMgを活性化させた。

【0021】このようにして得られたp-GaN層6について、2次イオン質量分析法(SIMS)により、Ga<sub>0.8</sub>N層中のMgの濃度を調べたところ、従来法で形成した試料と同等の約 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であった。次に、この試料のアクセプタ濃度およびキャリア濃度を、容量-電圧(C-V)測定およびホール効果測定により評価した結果、アクセプタ濃度は $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、p型のキャリア濃度は $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、Mgのキャリアとしての活性化率は約30%となり、従来の約30倍に向上した。

【0022】図2は本発明をGa<sub>0.8</sub>N系青色半導体レーザ装置に適用した実施例を示す断面図である。本実施例ではp側電極用コンタクト層に本発明を適用した。

【0023】この半導体レーザ装置は、サファイア基板10上に形成されている。サファイア基板10上には、MOCVD法により、六方晶型(ウルツ鉱型)を有する、n-GaN層11(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )を形成し、続いてn-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層12(Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚0.15μm)、In<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N活性層13(アンドープ、層厚0.1μm)、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層14(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚0.15μm)を順次1150℃で成長する。Ga、Al、In、Nの成長用原料としてトリメチルガリウム(TM<sub>G</sub>)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)およびアンモニア(NH<sub>3</sub>)を用いた。また、n型、p型ドーパントには、それぞれシラン(SiH<sub>4</sub>)、シクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を用いた。

【0024】p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層14上には、本発明に従い、図1の実施形態で用いた原料ビストリメチルシリメタン(bis-trimethylsilylmethane) [BTMSM  $(\text{CH}_3)_3-\text{Si}-\text{CH}_2-(\text{CH}_3)_3$ ] を用い、Mgドープ(GaN)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>コンタクト層15(Mgドープ、 $5 \sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚0.1μm)を1150℃で連続して成長した。

【0025】また、特に図示しないが、n-GaN層11とサファイア基板10との間には550℃で低温成長させたGa<sub>0.8</sub>Nバッファ層が設けられている。さらに、Ga<sub>0.8</sub>Nコンタクト層15上面には、p側電極16が設けられており、n-GaN層11上のn-AlGa<sub>0.8</sub>Nクラッド層12が積層されていない上面部分には、n側電極1

7が設けられている。

【0026】上述のように作製されたレーザ用多層構造にへき開またはドライエッチングにより共振器ミラーを形成し、青色半導体レーザ素子を作製した。

【0027】次に、上記構成の青色半導体レーザ素子の発振動作について説明する。この実施例のレーザ素子は、しきい値150mAで室温において連続発振した。発振波長は395nm、動作電圧は6Vであった。また、この素子の動作寿命は10000時間以上と長く、従来、p型コンタクトの抵抗が高いために、電極とのコンタクト部で劣化が生じ、素子寿命が著しく短かった問題が解決できた。また、本実施例では低抵抗化の効果以外にも、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層14とMgドープ(GaN)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>コンタクト層15との格子不整合差が殆ど無くなったことにより、両層の界面特性も向上した。そして本実施例の素子は、この結果、歩留まり、信頼性共に大幅に向上した。

【0028】図3は、図2の実施例と同様のGa<sub>0.8</sub>N系半導体レーザに本発明を適用した実施例を示す断面図であるが、コンタクト層の他にクラッド層(電流注入層)に対しても本発明を適用した実施例を示している。

【0029】n-SiC基板20上に、MOCVD法により、600℃でAl<sub>0.3</sub>Nバッファ層21を成長する。その上に1150℃でn-(GaN)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>層22(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )を形成し、続いて、n-(Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N)<sub>0.7</sub>(SiC)<sub>0.3</sub>クラッド層23(Siドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚0.2μm)、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N活性層24(アンドープ、層厚200オングストローム)を順次成長する。

【0030】次に、この上にp-(Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N)<sub>0.7</sub>(SiC)<sub>0.3</sub>クラッド層25(Mgドープ、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、0.2μm)を、さらにその上にp-SiCコンタクト層26(Alドープ、 $6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、層厚0.3μm)を成長する。

【0031】本実施例では、Ga、Al、In、Nの成長用原料としてトリメチルガリウム(TM<sub>G</sub>)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TMI)およびアンモニア(NH<sub>3</sub>)を用いた。また、n型、p型ドーパントには、それぞれシラン(SiH<sub>4</sub>)、シクロペンタジエニルマグネシウム(Cp<sub>2</sub>Mg)を用いた。また、本発明の実施形態に従ったSiCと窒化物半導体との化合物半導体の成長に用いたSiC原料はヘキサメチルジシラン(hexamethyldisilane) [HMDS  $(\text{CH}_3)_6\text{Si}_2$ ]、p-SiCコンタクト層へのp型ドーパント原料はTMAである。

【0032】この半導体レーザ素子はストライプ型の開口を有するSiO<sub>2</sub>からなる電流狭窄層27がコンタクト層26上に設けられ、さらに上記開口を介してコンタクト層26と直接接触するようにp側電極28が設けら

れている。一方、 $n\text{-SiC}$ 基板20の裏面側には $n$ 側電極29が設けられている。

【0033】上記構成のレーザ用多層構造に共振器(図示せず)ミラーを製作し、青色半導体レーザ素子を完成した。

【0034】次に、上記構成の青色半導体レーザ素子の発振動作について説明する。この実施例によるダブルヘテロ構造を有する半導体レーザ素子は、しきい値70mAで60℃まで連続発振した。発振波長は395nm、動作電圧は5Vであった。

【0035】このように、この実施例に係る青色半導体レーザ素子によれば、クラッド層および $p$ 側コンタクト層の抵抗を低減することができ、キャリアの注入効率や電流効率を向上でき、安定した素子特性が得られとともに、歩留まり、素子寿命が大幅に向上し、信頼性の高い青色半導体レーザ素子の製造が可能になった。

【0036】図4は本発明のさらに他の実施例を示すGaN系半導体レーザの断面図である。この実施例は図2の場合と同様にサファイア基板上に形成された青色半導体レーザ素子であり、図3の場合と同様に、 $p$ 側コンタクト層および $p$ 型クラッド層に本発明が適用される。

【0037】サファイア基板30の(0001)面上に、MOCVD法により、550℃で成長させたGaNバッファ層(図示せず)を介して1150℃で $n\text{-GaN}$ 層31( $\text{Si}$ ドーパ、 $3\sim 5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ )を形成し、続いて $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラッド層32( $\text{Si}$ ドーパ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、層厚0.3 $\mu\text{m}$ )、GaN光閉じ込め層33(アンドープ、層厚0.2 $\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 多重量子井戸活性層34、GaN光閉じ込め層35(アンドープ、層厚0.2 $\mu\text{m}$ )、 $p\text{-(Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N)}_{0.7}(\text{SiC)}_{0.9}$ クラッド層36( $\text{Mg}$ ドーパ、 $5\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、0.3 $\mu\text{m}$ )を順次成長する。その上に、 $p\text{-(In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N)}_{0.7}(\text{SiC)}_{0.3}$ コンタクト層37( $\text{Mg}$ ドーパ、 $1\sim 3\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、0.1 $\mu\text{m}$ )を順次成長する。

【0038】さらに、コンタクト層37の上面には、 $p$ 側電極38が設けられている。一方、 $n\text{-GaN}$ 層31上の $n\text{-AlGaN}$ クラッド層32が積層されていない上面部分には、 $n$ 側電極39が設けられている。

【0039】上記のように構成された多層膜に共振器端面(図示せず)を形成し、青色半導体レーザ素子を作製した。次に、このレーザ素子の発振動作について説明する。このレーザ素子は、しきい値72mAで60℃まで連続発振した。発振波長は395nm、動作電圧は6.6Vであった。

【0040】このように、この実施例のレーザ素子でも $p$ 側コンタクト抵抗および $p$ 型クラッド層(電流注入層)の低抵抗化が可能になったことにより、素子の寿命が延び、信頼性が大幅に向上した。

【0041】本発明は、上記の実施例の範囲に限定されるものではなく、GaN系青色半導体レーザの他、GaN系発光ダイオード(LED)や、その他の窒化物系化合物半導体を用いた電子デバイスにおいても適用可能であり、素子の動作電圧の低減、長寿命化などの効果が得られる。

【0042】また、MOCVD法で用いるSiC成長用原料としては、ビストリメチルシリメタン(bis-trimethylsilylmethane) [ $\text{BTMSM}(\text{CH}_3)_3\text{-Si-CH}_2\text{-(CH}_3)_3$ ]、ヘキサメチルジシラン(hexamethyldisilane) [ $\text{HMDS}(\text{CH}_3)_6\text{Si}_2$ ]の他、メチルトリクロロシラン(methyltrichlorosilane)

[MTS]、シラシクロブタン(silacyclobutane) [SCB]、メチルシラン(methylsilane)、1,3-ジシラブタン(1,3-disilabutane)等のSiとCが直接結合した原料がある。また、シラン( $\text{SiH}_4$ )とプロパン( $\text{C}_3\text{H}_8$ )、ジシラン( $\text{Si}_2\text{H}_6$ )とアセチレン( $\text{C}_2\text{H}_2$ )、トリクロロシラン( $\text{SiHCl}_3$ )とエチレン( $\text{C}_2\text{H}_4$ )、ヘキサクロロジシラン( $\text{Si}_2\text{Cl}_6$ )とプロパン( $\text{C}_3\text{H}_8$ )等のSiおよびC原料を組み合わせ使用することも可能である。さらに、結晶の成長方法はMOCVD法その他、CVD法、MBE(分子線エビタキシー)法、LPE(液相成長)法、その他の成長方法でも可能である。

【0043】

【発明の効果】本発明によれば、窒化物系半導体素子、特にGaN系青色半導体素子において、コンタクト層や電流注入層中のドーパントの活性化率が大幅に向上したことにより、電極とのコンタクト抵抗および素子抵抗の低減が可能になった。特に、ワイドギャップを有し、かつイオン結合性の強い半導体では $p$ 型ドーパントの活性化率が悪く、 $p$ 側電極とのコンタクト抵抗が高く、素子劣化を招き、レーザにおいてはレーザ発振が困難であったり、素子寿命が延びないなどの問題があったが、本発明によりこれらの問題が解決し、素子の信頼性、歩留まりが大幅に向上し、特にGaN系青色半導体レーザにおいては素子寿命が実用化レベルに達した。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体発光素子の基本的構成を従来の構成と対比して示す断面図で、同図(A)は従来の技術による層構造、(B)は本願の技術による層構造を示す。

【図2】本発明をGaN系青色半導体レーザ装置に適用した実施例を示す断面図である。

【図3】本発明をGaN系半導体レーザに適用した他の実施例を示す断面図である。

【図4】本発明のさらに他の実施例を示すGaN系半導体レーザの断面図である。

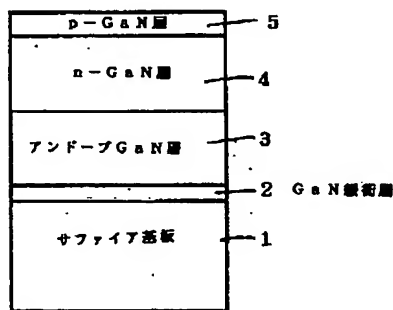
【符号の説明】

1 サファイア基板

- 2 低温Ga<sub>0.8</sub>N緩衝層
- 3 アンダーブGa<sub>0.8</sub>N層
- 4 n-GaN層
- 5 p-GaN層
- 6 p-(Ga<sub>0.8</sub>N)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>層
- 10 サファイア基板
- 11 n-GaN層
- 12 n-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層
- 13 InGa<sub>0.8</sub>N活性層
- 14 p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層
- 15 p-(Ga<sub>0.8</sub>N)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>コンタクト層
- 16 p側電極
- 17 n側電極
- 20 n-SiC基板
- 21 AlNバッファ層
- 22 n-(Ga<sub>0.8</sub>N)<sub>0.8</sub>(SiC)<sub>0.2</sub>層
- 23 n-(Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N)<sub>0.7</sub>(SiC)<sub>0.3</sub>クラッド層
- 24 アンダーブIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N活性層

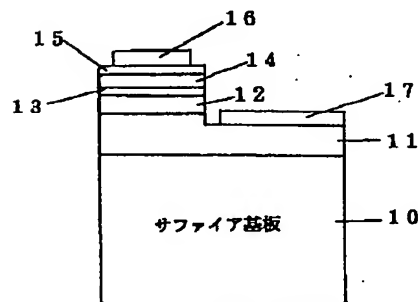
- 25 p-(Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N)<sub>0.7</sub>(SiC)<sub>0.3</sub>クラッド層
- 26 p-SiCコンタクト層
- 27 電流狭窄層
- 28 p側電極
- 29 n側電極
- 30 サファイア基板
- 31 n-GaN層
- 32 n-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層
- 33 Ga<sub>0.8</sub>N光閉じ込め層
- 34 In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N/In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N多重量子井戸活性層
- 35 Ga<sub>0.8</sub>N光閉じ込め層
- 36 p-(Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N)<sub>0.7</sub>(SiC)<sub>0.9</sub>クラッド層
- 37 p-(In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N)<sub>0.7</sub>(SiC)<sub>0.3</sub>コンタクト層
- 38 p側電極
- 39 n側電極

【図1】

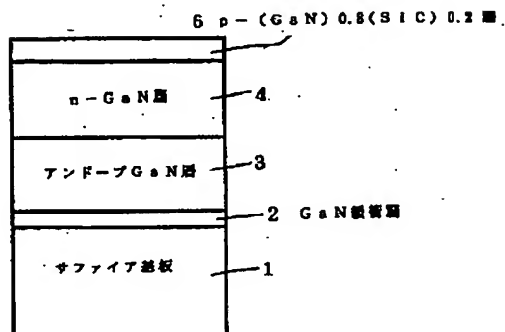


(A)

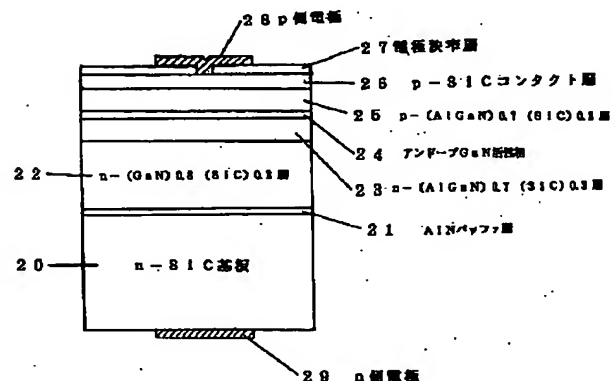
【図2】



【図3】



(B)



(7)

特開平10-65212

【図4】

